

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 許出願公開番号

特開平11-354840

(43) 公開日 平成11年(1999)12月24日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-155841

(22) 出願日 平成10年(1998)6月4日

(71) 出願人 000003263

三菱電線工業株式会社

兵庫県尼崎市東向島西之町8番地

(71) 出願人 000006792

理化学研究所

埼玉県和光市広沢2番1号

(71) 出願人 598073545

田中 悟

北海道札幌市中央区宮の森一条13丁目2-

3 ソレアード宮の森3-2

(74) 代理人 弁理士 高島 一

最終頁に続く

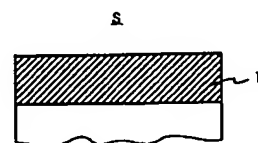
(54) 【発明の名称】 GaN系量子ドット構造の製造方法およびその用途

(57) 【要約】

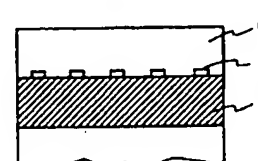
【課題】 従来のGaN系量子ドット構造の製造方法に比べて、より工程の簡略化された新たなGaN系量子ドット構造の製造方法を提供し、さらにこれを半導体発光素子の製造方法に応用すること。

【解決手段】 GaN系材料からなるベース層Bの上面(ベース面)の表面状態をアンチサーファクタントSによって変化させ、3元以上の組成を有しかつ特定の格子整合性を有するGaN系材料を、気相成長法にて原料ガスaとしてベース面に供給する。これだけで、供給したGaN系材料とは異なる組成比のGaN系材料からなり、ベース面上に分散する量子ドットdと、供給したGaN系材料と同じ組成比のGaN系材料からなり量子ドットdを埋め込んでベース面上に成長するキャップ層Cとが形成され、GaN系量子ドット構造が得られる。

(a)



(b)



- a キャップ材料を形成するための原料ガス
- B ベース層
- C キャップ層
- d 量子ドット
- S アンチサーファクタント

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 GaN系材料からなる結晶層をベース層とし、該ベース層の上面をベース面として、該ベース面の表面状態をアンチサーファクタントによって変化させ、3元以上の組成を有しかつ下記(i)の格子整合性を有するGaN系材料(A)を、気相成長法にてベース面に供給することによって、

供給したGaN系材料(A)とは異なる組成比のGaN系材料からなり、ベース面上に分散する量子ドットと、供給したGaN系材料(A)と同じ組成比のGaN系材料からなり、前記量子ドットを埋め込んでベース面上に成長する結晶層とを、形成する工程を有することを特徴とするGaN系量子ドット構造の製造方法。

(i) ベース面の表面状態を変化させるような表面処理を施すことなく、該ベース面上にGaN系材料(A)を直接的に結晶成長させたとき、該ベース面上に膜状に結晶成長し得るような、ベース層のGaN系材料に対する格子整合性。

【請求項2】 上記量子ドットを埋め込んでベース面上に成長する結晶層を新たにベース層とする繰り返しの態様にて、量子ドットとこれを埋め込む結晶層との形成を繰り返し、それによって最初のベース面上に、量子ドットとこれを埋め込む結晶層との組を1段としてこれを2段以上積層し、多重の量子ドット構造とするものである請求項1記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【請求項3】 量子ドットの材料のバンドギャップが、該量子ドット形成のベース面となるベース層の材料および該量子ドットを埋め込む結晶層の材料の各々のバンドギャップよりも小さくなるように、ベース層の材料と供給するGaN系材料(A)とを選択するものである請求項1または2記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【請求項4】 ベース層の材料および供給するGaN系材料(A)をAlGaNとして、そのAlGaNよりもAl成分の減少した組成比の材料からなる量子ドットを形成するものである請求項1記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【請求項5】 請求項1～4のいずれかに記載の製造方法を用い、該製造方法によって得られるGaN系量子ドット構造を、発光に係る部分として形成することを特徴とするGaN系半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaN系材料からなる量子ドット構造の製造方法と、その用途に関するものである。

【0002】

【従来の技術】GaN系発光素子は、近年高輝度の発光ダイオード(LED)が実現されたのを機会に研究が活発に行われており、半導体レーザの室温連続発振の報告

も聞かれる様になっている。

【0003】GaN系発光素子のなかでも、緑色～青色の短い波長の発光が得られ、しかも高い発光効率を得られるものとして、発光層(活性層)にInGaNの量子井戸層を用いたものがある。InGaNを用いて量子井戸層を形成する場合、その熱力学的な不安定性から、層全体にわたって均一な組成比にはならず、層中で局所的にIn組成比の異なった部分が発生する。この部分は量子ドットに似た性質をもつ。InGaNの量子井戸層を発光層として用いた発光素子では、この量子ドット的な部位が、層の厚み方向のみならず3次元的方向について励起子を閉じ込める作用を示し、この部分でキャリアの再結合発光が起きると言われており、これがInGaN量子井戸層が高い発光効率で発光し得る要因の1つとされている。

【0004】InGaN量子井戸層中の量子ドット的な部位は、InGaN自体の性質によってInGaN層中に存在するものである。他方、GaAs系の材料では、ドット材料と基板材料との格子不整合を利用した量子ドットの形成が知られている。これらに対して、近年、GaN系材料からなる結晶層をベース層として、その表面(ベース面)に特殊な表面処理を施し、特定の気相成長法を用いることによって、該ベース面上にこれと格子整合性の良好なGaN系半導体を量子ドットとして突起状に結晶成長させ得ることが明らかとなった(Appl. Phys. Lett. 69(1996)4096)。このGaN系量子ドットの形成のメカニズムは、前記InGaNや、GaAs系における量子ドットの形成とは全く異なるものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のGaN系量子ドットは、ベース面上の残りの領域を出発面とする結晶成長によって、別のGaN系材料からなる層(キャップ層)が該量子ドットを埋め込むまで形成され、GaN系量子ドット構造とされる。従って、このようなGaN系量子ドット構造の形成においては、ベース面の表面処理を施した後、まず、量子ドットを形成するために量子ドット専用の材料を供給し、次に、材料を切り換えて、キャップ層専用の材料を供給するという、2段階の供給を行っていた。

【0006】本発明の目的は、上記のような従来のGaN系量子ドット構造の製造方法に比べて、より工程の簡略化された新たなGaN系量子ドット構造の製造方法を提供し、さらにこれを半導体発光素子の製造方法に応用することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によるGaN系量子ドット構造の製造方法は、以下の特徴を有するものである。

(1) GaN系材料からなる結晶層をベース層とし、該ベース層の上面をベース面として、該ベース面の表面状

態をアンチサーファクタントによって変化させ、3元以上の組成を有しかつ下記(i)の格子整合性を有するGaN系材料(A)を、気相成長法にてベース面に供給することによって、供給したGaN系材料(A)とは異なる組成比のGaN系材料からなり、ベース面上に分散する量子ドットと、供給したGaN系材料(A)と同じ組成比のGaN系材料からなり、前記量子ドットを埋め込んでベース面上に成長する結晶層とを、形成する工程を有することを特徴とするGaN系量子ドット構造の製造方法。

【0008】上記および以下の説明でいう(i)の格子整合性とは、次に示す格子整合性をいう。

(i) ベース面の表面状態を変化させるような表面処理を施すことなく、該ベース面上にGaN系材料(A)を直接的に結晶成長させたとき、該ベース面上に膜状に結晶成長し得るような、ベース層のGaN系材料に対する格子整合性。

【0009】(2) 上記量子ドットを埋め込んでベース面上に成長する結晶層を、新たにベース層とする繰り返しの態様にて、量子ドットとこれを埋め込む結晶層との形成を繰り返し、それによって最初のベース面上に、量子ドットとこれを埋め込む結晶層との組を1段としてこれを2段以上積層し、多重の量子ドット構造とするものである上記(1)記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【0010】(3) 量子ドットの材料のバンドギャップが、該量子ドット形成のベース面となるベース層の材料および該量子ドットを埋め込む結晶層の材料の各々のバンドギャップよりも小さくなるように、ベース層の材料と供給するGaN系材料(A)とを選択するものである上記(1)または(2)記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【0011】(4) ベース層の材料および供給するGaN系材料(A)をAlGaNとして、そのAlGaNよりもAl成分の減少した組成比の材料からなる量子ドットを形成するものである上記(1)記載のGaN系量子ドット構造の製造方法。

【0012】また、本発明によるGaN系量子ドット構造の製造方法の用途は、上記(1)～(4)のいずれかに記載の製造方法によって得られるGaN系量子ドット構造を、発光に係る部分として形成することを特徴とするGaN系半導体発光素子の製造方法である。

【0013】以下、本明細書では、ベース層に用いるGaN系材料を「ベース材料」、量子ドットを埋め込んでベース面上に成長する結晶層を「キャップ層」、量子ドットおよびキャップ層を形成すべくベース面に供給するGaN系材料(A)を「キャップ材料」、キャップ材料の供給によって組成が変化し形成される量子ドットのGaN系材料を「ドット材料」と、各々の呼称を設け併用して説明する。また、GaN系量子ドット構造(以下、

単に「量子ドット構造」ともいう)とは、GaN系材料からなる量子ドットが、そのドット材料とは異なる組成比のGaN系材料にて包含された構造をいう。なかでも、量子ドットが、バンドギャップのより大きい材料にて包含された構造は、発光素子に有用である。

【0014】

【作用】アンチサーファクタントによって表面処理がなされたベース面上にGaN系材料を供給すると量子ドットが形成されるが、本発明者等は、供給するGaN系材料を3元以上の組成とすると、量子ドット成長の一定の段階を境に、成長の態様と組成が変動するということを知見として得た。本発明者等は、この知見を積極的に利用し、キャップ材料だけを供給し続けることによって、先ず、そのキャップ材料に含まれる元素の範囲内で、該キャップ材料とは異なる組成にて量子ドットを成長させ、その組成比の自らの変動によって、本来意図した組成のキャップ層を成長させ、量子ドット構造を得ることを可能とした。

【0015】ここで、GaN系材料が結晶成長するように、気相成長法にて原料ガスを供給するとは、該GaN系材料が形成されるような元素の比にて、原料ガスを気相成長法の条件下でベース面上に供給することである。例えば、GaN系材料としてAlGaNを結晶成長させるには、Al原料としてトリメチルアルミニウム(TM A)、Ga原料としてトリメチルガリウム(TM G)、N原料としてアンモニアを供給する等である。

【0016】従来の製造方法では、量子ドットの成長を第1段階とし、キャップ層の成長を第2段階として、供給原料や成長条件などを2段階に切り換えていたが、本発明の製造方法では、供給原料や成長条件の変更・切り替えを一切行わず、最初からキャップ層を成長させるための原料を供給し続けるだけで、それとは異なる組成比の量子ドットを成長させ、さらに供給したとおりの組成比のキャップ層を成長させるのである。

【0017】ただし、ベース材料とキャップ材料とは、上記(i)の関係にある。即ち、ベース面の表面状態を何ら変化させることなく従来通りの結晶成長法・成長条件にてベース面上にキャップ材料を成長させた場合には、キャップ材料は、従来知られているとおり、膜としてベース面上を全面覆う結晶層として成長する材料である。即ち、ベース材料とキャップ材料とは、共にGaN系材料であって少なくともその程度に格子整合しているということである。

【0018】ベース材料とキャップ材料とが上記のような格子整合の関係にある状態において、キャップ材料を構成する原料が供給されたとき、ベース面上に成長する結晶の態様が量子ドットとなるためには、ベース面にアンチサーファクタント(ベース面であるGaN系結晶層表面の表面状態を変化させる物質)を作用させる。アンチサーファクタントの作用によるGaN系結晶層表面の

表面状態の変化については、詳しくは解明されていないが、表面自由エネルギーが小さくなる変化であると考えられる。ベース面の表面状態をこのように変化させることによって、キャップ材料を構成する原料の中から、キャップ材料とは異なる組成比のGaN系材料が、ベース面上に量子ドットとして結晶成長し、一定の大きさまで成長した段階で組成比と成長の態様が変動し、量子ドットを埋め込むキャップ層へと変化する。

【0019】

【発明の実施の形態】図1は本発明の製造方法によってGaN系量子ドット構造が形成される様子を示す断面図である。GaN系材料からなる結晶層をベース層Bとし、該ベース層の上面をベース面とする。ベース層Bは、気相成長装置の槽内に配置されており、ベース面上にGaN系材料が結晶成長可能な環境となっている。この状態から、先ず図1(a)に示すように、槽内にアンチサーファクタントSを供給し、ベース面と接触させてその表面状態を変化させる。次に、3元以上の組成を有するGaN系材料（キャップ材料）に対応する原料を含むガスaをベース面に供給する。キャップ材料は、ベース材料に対して上記(i)の格子整合性を有するものとする。

【0020】この原料ガスaの供給を継続するだけで、図1(b)に示すように、ベース面上に分散する量子ドットdが成長し、さらに、該量子ドットdを埋め込んでキャップ層Cが成長する。このとき、量子ドットdを構成する物質の組成比は、供給した原料によって本来成長すべき結晶の組成比とは異なるものとなり、キャップ層Cを構成する物質の組成比は、供給した原料によって本来成長すべき結晶そのものとなる。

【0021】本発明でいうGaN系材料とは、式 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ,  $x+y+z=1$ )で表されるIII族窒化物半導体である。

【0022】ベース層の材料は、前記式で表される窒化物半導体であればよいが、量子ドット構造を発光素子の発光部分として用いるならば、ベース層の材料は、量子ドットの材料よりもバンドギャップの大きいものが好ましい。

【0023】ベース面上に供給するキャップ材料は、前記式で表される窒化物半導体のうち、必ず3元または4元の窒化物半導体とする。2元の材料をキャップ材料として供給したのでは、実質的に有効な組成比の変動がなく、キャップ材料と組成比の異なる量子ドットが形成されないからである。

【0024】ベース面上にどのような組成のキャップ材料を供給し、そこからどのような組成の量子ドットを成長させるかは限定されず、目的に応じて3元以上のGaN系材料をキャップ材料に選択すればよい。発光素子の発光部として有用な材料の一例としては、AlGaNが

挙げられる。AlGaNをキャップ材料として供給することによって、そのAlGaNよりもAl成分の減少した組成比の材料からなる量子ドット（即ち、キャップ層よりもバンドギャップの小さい量子ドット）を成長させ、供給したとおりのAlGaNをキャップ層とすることができる。

【0025】ベース面に量子ドットを形成するには、上記作用の説明で述べたように、ベース面にその表面状態を変化させる物質（アンチサーファクタント）を作用させる。ベース面にアンチサーファクタントを作用させるには、ベース面とアンチサーファクタントとを接触させればよい。接触の方法は限定されないが、例えば、MOCVD法によって、AlGaN結晶層上面をベース面とする場合であれば、MOCVD装置内でAlGaN結晶層が成長した後、該装置内にガス状のアンチサーファクタントを供給すればよい。その後、キャップ材料を供給し、量子ドット構造を形成する。

【0026】アンチサーファクタントをガス状として供給するには、例えば、テトラエチルシランをアンチサーファクタントとするのであれば、その溶液に $\text{H}_2$ ガスをバブリングさせることにより、 $\text{H}_2$ ガスをキャリアガスとして供給する方法が挙げられる。

【0027】アンチサーファクタントとして用いられる物質は、上記(i)の格子整合性を有するGaN系材料がドット状に成長する程度にベース面の表面状態を変化させる物質であればよく、ベース材料と供給するキャップ材料との組合せによって適当なものが選択でき、限定されない。例えば、AlGaN結晶層をベース層として、該ベース面上にAlGaNの原料を供給し量子ドットを形成させる場合、アンチサーファクタントとしては、テトラエチルシランが挙げられる。その他、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、またはこれらの混合ガス、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ （ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）等が挙げられる。

【0028】量子ドットおよびキャップ層を成長させるときの原料供給法を含む結晶成長方法は、気相成長法に従えばよく、特にMOCVD、MBEなどが好ましい方法として挙げられる。

【0029】個々の量子ドットの大きさ、形状、また量子ドットの分散の度合いは、アンチサーファクタントの供給量、量子ドットの成長温度、ベース材料の組成をパラメータとして変化させることによって制御することができる。

【0030】以上は、1つの量子ドット構造を製造する方法であるが、これを繰り返すことによって、多重の量子ドット構造を容易に形成することができる。即ち、図2に5段の例を挙げて示すように、先ず、ベース層Bの上面に対するキャップ材料の供給によって量子ドットd1とキャップ層B1とを形成し量子ドット構造となった状態で、この量子ドットとキャップ層との組を1段とし

て数える。そのキャップ層B1の上面を新たにベース面として、再びキャップ材料を供給し、量子ドットd2とキャップ層B2との組を成長させるという繰り返しの態様にて、最初のベース層B上に、量子ドットとキャップ層との組を(d1, B1)～(d5, B5)として、5段まで積層し、多重量子ドット構造とするのである。

【0031】多重量子ドット構造の各段に形成される量子ドットのパンドギャップは、そのベース層の材料のパンドギャップよりも小さくなるように、供給するキャップ材料を選択すればよい。多重量子ドット構造において、各段の量子ドットとその周囲の材料とのパンドギャップの関係がこの条件を満たすのであれば、各段のキャップ材料同士は、互いに異なるパンドギャップでもよい。

【0032】本発明によって得られる量子ドット構造は、図3に示すように、半導体発光素子における発光現象に係る部分として好ましく利用することができる。その発光現象が、電子またはホールの注入によって量子ドット中において電子とホールとが再結合し発光する現象である場合、ベース材料、キャップ材料のパンドギャップよりも、量子ドットを構成する材料のパンドギャップを小さくすることが必要となる。このような関係を満たす好ましいキャップ材料としては、上記したようにAlGaInが挙げられる。また、その場合、量子ドットとの大きなパンドギャップの差を得るため、ベース材料もAlGaInとするのが好ましい。

【0033】本発明による量子ドット構造の製造方法を用いたGaIn系発光素子の製造例を図3に示す。同図では、説明のために簡単な構造のLEDを例として示している。同図に示すように、結晶基板1上に、GaIn系材料からなる結晶層を順次成長させて積み重ね、上記説明によって形成される量子ドット構造3を含む積層体Sを形成し、これにp型側の電極6とn型側の電極7を設けて構成する。層2はn型コンタクト層、層4はベース層B(n型クラッド層)と対をなすp型クラッド層、層5はp型コンタクト層であり、いずれもGaIn系材料からなる。

【0034】図3の例における伝導型(p型、n型)の上下位置関係は、伝導型を形成するための加工上の理由から、結晶基板側をn型とし上層側をp型とする一般的なものとなっている。また、同図の例では、結晶基板に絶縁体(サファイア結晶基板)を用いており、層2の上面を露出させ、その面に電極7を設けるという電極の配置となっている。しかし、p/n型の上下が逆の態様や、結晶基板が導電性を有する場合の電極配置なども自由に選択してよい。

【0035】図3の量子ドット構造3におけるベース層Bとキャップ層Cの伝導型は、同じであっても、互いに異なるものであってもよく、発光素子における発光部分としてどのように用いるかによって選択すればよい。図

3の例では、量子ドット構造3は、第1伝導型(図ではn型)のベース層B(n型クラッド層として機能する)と、多数の量子ドットd(アンドープ)と、キャップ層C(アンドープ)とからなり、その上にさらにp型クラッド層4が形成されている。また、図3のベース層Bをアンドープとし、その下側にn型のクラッド層を別途設けた構造としてもよい。

【0036】上記したように、発光素子では、ベース材料およびキャップ材料の各々のパンドギャップの大きさは、ともにドット材料のパンドギャップの大きさよりも大きいものとする。これは、発光部である量子ドットに電子およびホールを効率よく注入するためである。

【0037】結晶基板は、GaIn系結晶が成長可能なものであればよく、例えば、従来からGaIn系結晶を成長させる際に汎用されている、サファイア、水晶、SiC等が挙げられる。なかでも、サファイアのC面、A面、6H-SiC基板、特にC面サファイア基板が好ましい。またこれら材料の表面に、GaIn系結晶との格子定数や熱膨張係数の違いを緩和するためのZnO、MgOやAlN等のバッファ層を設けたものであっても良く、さらにはGaIn系結晶の薄膜を表層に有するものでもよい。図3の例では、基礎となるサファイア結晶基板1a上に、格子整合性を改善するためのバッファ層1bが形成されたものを結晶基板1として用いている。

【0038】

【実施例】本実施例では、本発明による量子ドット構造の製造方法を用いながら、図3に示す構造のLEDを実際に製作した。本実施例では、量子ドット構造部分におけるベース材料をAlGaInとし、キャップ材料としてAlGaInを原料供給することによって、AlGaInベース層Bと、量子ドットdと、AlGaInキャップ層Cとからなる量子ドット構造3を、発光素子中に形成した例である。量子ドット構造3は、ベース層(n型クラッド層)BをAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nとし、キャップ層CをアンドープのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nとした。このとき、形成された量子ドットの組成を調べたところ、Alは検出限界以下であり、実質的にGaInとして扱える組成であった。また、p型クラッド層4の材料は、Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nとした。

【0039】〔結晶基板1の形成〕最も基礎の結晶基板1aとしてはサファイアC面基板を用いた。まずこのサファイア基板1aをMOCVD装置内に配置し、水素雰囲気下で1200℃まで昇温し、サーマルエッチングを行った。その後温度を500℃まで下げAl原料としてTMA、N原料としてアンモニアを流し、AlN低温バッファ層1bを30nm成長させ、結晶基板1を得た。

【0040】〔n型コンタクト層2の形成〕成長温度を1000℃に昇温し、Ga原料としてTMG、N原料としてアンモニア、ドーパント原料としてシランを流し、

n型Ga<sub>0.15</sub>Nコンタクト層2を3 $\mu$ m成長させた。

【0041】〔量子ドット構造3の形成〕

①ベース層Bの形成；成長温度を1100℃とし、TMA、TMG、アンモニア、ドーパント原料としてシランを供給し、n型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるベース層Bを0.5 $\mu$ m成長させた。ベース層Bは、n型クラッド層としての機能を果たす層である。

【0042】②ベース面の表面処理；温度を1000℃とし、H<sub>2</sub>ガスをキャリアとしてテトラエチルシランを供給し、ベース面に10秒間接触させた。

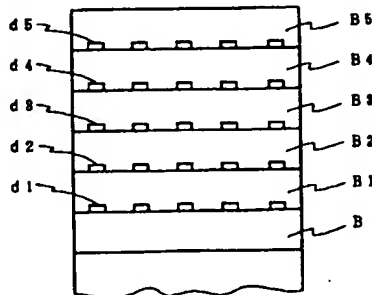
【0043】③量子ドットdとキャップ層Cの形成；成長温度を1100℃とし、TMA、TMG、アンモニアを供給したところ、先ずベース面上には量子ドットdが成長し、さらにこれを内部に埋め込むように、AlGa<sub>0.15</sub>Nキャップ層Cが成長した。上記したように、量子ドットを構成する材料は実質的にGa<sub>0.15</sub>Nと言えるものであった。キャップ層Cの層厚は20nmとした。

【0044】〔p型クラッド層4の形成〕成長温度を1100℃とし、TMA、TMG、アンモニア、ドーパント原料としてビスシクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を供給し、p型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなるクラッド層4を0.5 $\mu$ m成長させた。

【0045】〔p型コンタクト層5の形成〕成長温度を1000℃とし、TMG、アンモニア、およびドーパント原料としてCp<sub>2</sub>Mgを供給し、p型Ga<sub>0.15</sub>Nコンタクト層5を1 $\mu$ m成長させた。

【0046】〔電極の形成等〕試料を装置から取り出し、窒素雰囲気、800℃で20分間アニール処理を行った。最後に、p型コンタクト層5の上にp型電極6を形成し、また、ドライエッチングにより積層体の上面からp型層と量子ドット構造の一部をエッチング除去し、n型コンタクト層2の上面を露出させ、n型電極7を形成し、LEDとした。

【図2】



【0047】このLEDを、T<sub>0</sub>-18ステム台にマウントし、20mAでの光度の測定を行ったところ、50 mcdであり、優れた発光特性を有する発光素子であることがわかった。

【0048】

【発明の効果】以上のように、本発明の製造方法によって、より原料供給の工程を簡略化してGa<sub>0.15</sub>N系量子ドット構造を製造できるようになり、Ga<sub>0.15</sub>N系半導体発光素子の製造にも、発光部分の製造方法として好ましく取り入れることができるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の製造方法によってGa<sub>0.15</sub>N系量子ドット構造が形成される様子を示す断面図である。同図では、他の層と区別するために、ベース層にハッチングを施している。また、図中の量子ドットは、存在を示すための模式的な表現であって、現実の量子ドットの形状とは無関係である。

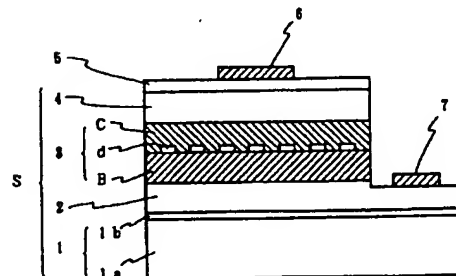
【図2】図1に示す製造方法を繰り返すことによって得られるGa<sub>0.15</sub>N系の多重量子ドット構造の一例を示す断面図である。同図では、断面を示すハッチングを省略している。

【図3】本発明によって製造されたGa<sub>0.15</sub>N系発光素子の一例を示す断面図である。同図では、説明のために、各層の厚み、量子ドット・電極の寸法などを誇張して示しており、実際の比率とは異なる。また、他の層と区別するために、電極、ベース層、キャップ層にハッチングを施している。

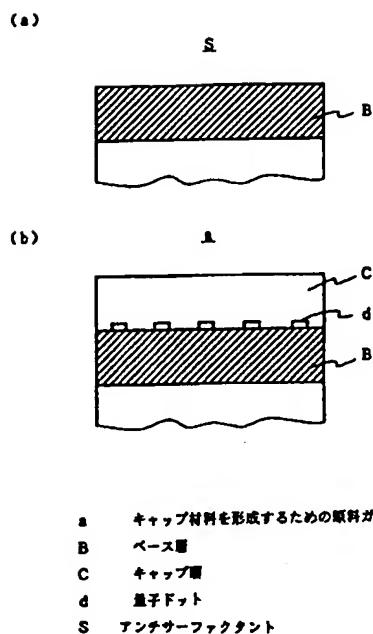
【符号の説明】

- a キャップ材料を形成するための原料ガス
- B ベース層
- C キャップ層
- d 量子ドット
- S アンチサーファクタント

【図3】



【図1】



## フロントページの続き

(72)発明者 田中 悟  
北海道札幌市中央区宮の森一条13丁目2-3  
ソレアード宮の森3-2

(72)発明者 青柳 克信  
埼玉県和光市広沢2番1号 理化学研究所  
内

(72)発明者 大内 洋一郎  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 岡川 広明  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内

(72)発明者 只友 一行  
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線  
工業株式会社伊丹製作所内